Archive of SID

ایجاد و گسترش علوم و فنّاوری نانو در ایران

نویسنده: هاشم رفیعی تبار*

استاد پژوهشی فیزیک محاسباتی مادهٔ چگال،

پژوهشگاه دانشهای بنیادی

معرفی مقاله

علوم وفنّاوری مقیاس نانو ،زیست شنـــاسی و ژنـتیک ملکولی و علوم رایانه و فنّاوری اطلاعات مؤلفه‌هـــای انقلاب علمی- صنعتی سوم را تشکیل می‌دهند. وحدت این سه حوزه ، که در مقیاس نانـو تحقق می‌پذیرد، قرن بیست و یکم را با رنسانس دیگری درعلم و فناوری همراه خواهد ساخت که نقش محوری در این رنسانس وهمگرایی را علوم و فنّـــاوری مقیاس نانو ایفا خواهد نمود. مطالعه اوضاع جهانی نشان می‌دهـــد که این دوحوزه در رده نخست اولویتهای ملی در بیشتر کشورهای رشد یافته صنعتی ودربسیاری ازکشورهای درحال رشد همتراز ایران قرار گرفته اند. به منظور همراهی با این کاروان جهانی و شرکت فعال در انقلاب سوم، لازم است ازهم اکنون زیرساختهای لازم برای ایجاد و توسعه علوم و فنّاوری نانو در کشور تدارک دیده شود.

کلید واژگان: علوم وفنّاوری نانـــو، زیرســـاختهای توسعه، راهبردهـــای توسعه، حوزه گسترده مواد

۱- مقدمه

دربهمن ماه ۱۳۸۰، بنا به دعوت معاون محترم پژوهشـی وزارت علوم، تحقیقات وفنّـــاوری، کمیته" **مطالعه توسعه زیرســـاختهای فنّاوری پیشرفته (با اولویت نانو**

* نشانی: تهران، پژوهشگاه دانشهای بنیادی، صندوق پستی: ۵۵۳۱-۱۹۳۹۵ پیام‌نگار: *Rafii@theory.ipm.ac.ir*

www.SID.ir

Archive of SID

فنّاوری)" با مسؤولیت اینجانب و با شرکت تعدادی ازاستادان دانشگاهها و مراکز پژوهشی کشور تشکیل گـــردید. وظیفه این کمیته، که درقالب یکی از طرحهای ملی وزراتخانه فعالیت می‌نمود، تعیین علایق جهانی علوم و فنّاوری نانو ، تعیین علایق این علوم و فنّاوری درکشور، تعیین اهداف کوتاه ، میان و بلند مدت بر مبنای این علایق ملی، پیشنهاد سیاستهای مشخص به منظور تحقق این اهداف وسرانجـام تدوین راهبردهای لازم برای پیاده‌ساختن این سیاستها مشخص شده بود.

مقاله ذیل بر پایه گزارش مبسـوط کمیته فوق نوشته شده است. این گزارش نتیجه مطالعات، بررسیهـــا وبازدیدهای اعضای کمیته مزبور وارزیابی آنها از امکانات وتوانمندیهـــای سخت افزاری ونیروی تخصصی موجود درکشور تهیه گردیده است.

۲- علایق جهانی علوم و فنّاوری نانو

۲-۱- کلیات

علوم وفنّاوری مقیاس‌نانو (میلیاردم متر) ادامه منطقی علوم وفنّاوریهای مقیاسهای ماکـرو(یک هزارم متر به بالا) ومیکرو (یک هزارم مترتا یک میلیونیم متر) است. از طریق این حوزهٔ جدید امکان دستکاری و دخالت عمدی درساختار اتمی ماده فیزیکی، جابه‌جا سازی تک اتمها و تک ملکولها، خود سامان دهی وخود همانند سازی ماده فیزیکی و ایجاد قطعات و ادوات نوینی که در مقیاسهای فوق ریز طولی و زمانی عملکرد دارند مهیا گشته است.

نانوفنّاوری مقوله‌ای نسبتا گسترده است و درک مشترکی هنوز از آن ارائه نشده است. برخی از پژوهشگـــران آنرا یک «فنّاوری انتظاری» در نظـــرگرفته‌اند که «امکان کنترل کامل برساختار مادّه فیزیکی را دراساسی ترین سطـــوح آن، یعنی سطوح اتمی و ملکولی، فراهم می‌آورد» (Drexler,۱۹۹۲). در اینجا کنترل به معنای «مهندسی درمقیاس ملکولی است که ازطـــریق آن مواد و قطعات با جایگذاری

www.SID.ir

Archive of SID

دقیق تک اتمها و تک ملکولها (مطابق یک طرح قبلی) از پایین به بالا تولید می شوند». این دیدگاه عمدتـاً از طرف پژوهشگران اروپایی وامریکایی اشاعه یافته است و قرابت نزدیک‌تری با افکار هدایت کننده فایمن دارد (Feynman,۱۹۶۰)که اولین بارمبحث دستکاری درمقیاس اتمی، ساختن سیمهای اتمی، مغناطیسهای تک حوزه‌ای و انباشت مقادیرزیادی اطلاعات در حجم بسیار کوچک (مانند سر سوزن) راپیشنهاد نمـود. سایر پژوهشگران، بویژه پژوهشگران ژاپنی، درتعریف خود از نانو فنّاوری روند «کوچک سازی»، یعنی روند از بالا به پایین (از مقیاس میکرونی به مقیاس نانومتری) را در مد نظر دارند. به‌رغم این اختلاف نظر، اکثر قریب به اتفاق پژوهشگران بر این نظرند که: علوم و فنّـاوری نانو دو رهیافت دخالت عمدی در بافت و نظم ساختار ماده در اساسی ترین اجزای آن را ارائه داده و امکان طراحی و تولید اتم به اتم ساختارهای نوینی را در مقیاس نانومتری فراهم می آورند. خصلت برجسته مقیاس نانو آن است که علوم سنتی ، یعنی فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، علم مواد ، مهندسی وپزشکی ، که در مقیاسهای ماکرو و میکرو حوزه‌های فعالیت کاملاً مجزا ومستقلی را تشکیل می‌دهند، دراین مقیاس به سمت اصول ، مقولات و ابزارهای واحدی همگرا می‌شوند.

سنگ بنای علوم و فنّاوری نانومتری را نانو ساختارها تشکیل می دهند که از نظر اندازه در بین ساختارهای ملکولی و ساختارهای میکرونی قرار داشته و از تعداد قابل شمارشی از اتمها تشکیل می‌شوند و نسبت سطح به حجم آنها زیاد است و برای شناخت سازمان، عملکرد و خواص آنها (به ویژه خواص الکترونی و مغناطیسی) به مفـاهیم فیزیک کوانتومی نیازمند است. نانوساختارها حالت جدیدی از ماده فیزیکی هستند و می‌توان انتظار داشت که مواد در مقیاس نانو، و مواد با ریزدانه‌های نانو ساختاری، از کیفیت نوینی که در مواد معمولی موجود نیست برخـوردار باشند. این امرافقهای کاملاً جدیـدی را برای فنّـاوری مهیا می‌سازد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- محورهای مشخص شده در علوم و فنّاوری نانو

علوم و فنّـاوری مقیاس نانو از سه حوزهٔ تخصصی مجزا و درعین حال مرتبط با هم تشکیل می‌شود:

الف- علوم و فناوری مرتبط با نانو ساختارهای«تر» (نرم).

ب- علوم وفنّاوری مر تبط با نانو ساختارهای «خشک» (سخت).

ج- علوم و فنّاوری محاسباتی نانو ساختار ها.

ردیف(الف)، مطالعه دستگاههای زیستی را، که به طور عمده درمحیط حلال بسر می برند، در دستور کار خود قرار می دهد. نانو ساختارهای این حوزه شامل مواد زیستی نظیـــر ژنها، غشاهای سلولی، آنزیمها و نظایر آنها می شود. وجود ارگانیسمهای طبیعی گواه خوبی برای امکان ایجاد و توسعه این نوع فنّاوری است. چالش اساسی در این زمینه ، شنا خت نانو فنّاوری در طبیعت و استفاده از شناخت در نانو فنّاوری ا نسان ساخته است.

ردیف (ب)، مرتبط با علوم شیمی و فیزیک مواد ، بویژه سطوح آنها و لایه های نازک که در یکی از ابعاد در مقیاس نانو هستند، می‌باشد. تمرکز فعلی این حوزه بیشتر بر روی نانو ساختارهـــای فلزی وکربنی ، از قبیل فولرین ها و نانو لوله‌ها وساختار های سیلیکونی می‌باشد. چالش بزرگ در این حوزه تولید مواد نوین با ریز ساختهای نانومتری است که ازخواص مکانیکی وترمودینامیکی برتر برْ خوردار خواهند بود .

ردیف (ج)، در قالب حوزه های مدلسازی عددی و شبیه سازی وابسته به رایانه (که امروزه به عنوان شاخه سوم پژوهش شناخته شده‌اند) (Rafii,۲۰۰۰). مطالعه عددی نانوســـاختارها ونانوروندهـــای «تر» و«خشک» را با استفـــاده از نظریه‌های فیزیک کلاسیک وکوانتومی بس ذره‌ای هـدف خود قـــرار داده است. پیدایش امکانات عظیـــم محاسباتی درشکل اَبَرکامپیوترهـــا، سکوهای گرافیک محاسباتی و کامپیوترهای قدرتمند فردی منجربه شکل گیری علم نوینی به نام علم محاسباتی شده که مبنای مدلسازیهای بسیار دقیق در سطوح زیر اتمی، اتمی

www.SID.ir

Archive of SID

و ملکولی را فراهم آورده است. چالش بزرگ دراین حوزه طـــراحی مواد جدید از طریق محاسبات پایه اولیهٔ متکی بر فیزیک کوانتومی است.

۲-۳ مزایای بالقوهٔ نانو فنّاوری

علوم وفنّاوری نانو دستیابی به پیشرفت‌های علمی، صنعتی، اقتصادی واجتماعی عظیمی را برای کشورها نوید می‌دهـــد که می‌توان آنها را درسه دسته طبقه‌بندی کرد:

الف- حیطه علمی- صنعتی ، روند فعـــلی کوچک ســـازی مقیاس میکـــرونی با استفاده از حکاکی نوری ،که روش متداول برای ساخت مدارهای مجتمع است، بزودی به آخر خط خواهد رسید ، زیرا استفاده از نورفرا بنفش برای حکاکی به مرز بحرا نی طول موج یک دهم میکرون نزدیک می‌گردد و ادامه قانون مور (Moore)، که به موجب آن تعـــداد ترانزیستورهـــایی که بر روی یک تراشه قـــــرار می‌گیرند هرهجـــده ماه دو برابر می‌شود، دیگـــر امکانپذیر نخواهد بود. افزایش تعداد ترانزیستورها، که پیشرفت فنّاوری ارتباطی وابسته به آن است، از طریق استفاده از نانو ساختار ها (مانند نانو لوله های کربنی) یکی از ساز و کار های جدی برای خروج از بحران یک دهم میکـــرون است. افزون بر این می‌توان از نانو فنّاوری مزایای دیگری نظیر پوششهای سطحی بهتر، مواد محکمتر وسخت تر، مواد مقاومتر در مقابل خوردگی، کاتالیزورهای مؤثرتر وخواص نوین مغناطیسی و همچنین مواد زیستی و انواع گوناگون حسگر، آمیزش زیست شناسی و الکترونیک، افزایش کارایی مواد وتولید دستگاهها و مواد هوشمند را نیز می‌توان انتظار داشت. درکشورهای پیشرفته صنعتی این موضوع مورد قبول همگان است که صرف هزینه برای پژوهش در نانو فنّاوری امری الزامی است و ثمرات اقتصادی مطلوبی را به دنبال خواهد آورد.

www.SID.ir

Archive of SID

ب- **حیطه آموزشی و پژوهشی** ، ایجاد علوم و فنّاوری نانو باعث پیدایش نسل جدیدی از پژوهشگران در رشته های کاملا نوین می‌گردد. پژوهشگاهها و مراکزتحقیقاتی دانشگاهی وصنعتی جدید به‌وجودخواهند آمد وشاخه‌های جدیدی به علوم وفنّاوری کشور اضافه می شود. حتی اگر همگی آزمایشها و محاسبات به نتایج مطلوب منتهی نشود، دانش ما را نسبت به آنچه امکانپذیر و شدنی است وآنچه امکان ناپذیر وناشدنی است ارتقا می‌بخشد. نظر به اینکه پژوهشهای مرتبط با نانو فنّاوری عمیقاً بین رشته ای است، بر روی چندین رشته علمی وفنی اثربخشی مستقیم داشته و پژوهش، فرهنگ وفعالیت بین رشته‌ای را تقویت خواهند کرد.

ج- **حیطه اجتماعی** ،مزایای دراز مدت نانو فنّاوری ملکولی ومهندسی ملکولی افقهای کاملاً نوینی رادرمقابل بشریت مترقی‌خواهد گشود. دراین خصوص می‌توان ازامکاناتی نظیر ترمیم سلولها وبافتهای ژنتیکی و مبارزه با امراض سنتی و جدید در مقیاس ملکولی نام برد . این امر به معنای پایان بخشیدن به بیماریها و روند کهولت سن است. توانمندی در تولید تقریبا هر گونه مواد و دستگاه به قیمت بسیار نازل و به‌طور نامحدود ، انواع مواد خوراکی و پوشاکی از طریق روباتها (نانوباتها) که تحت نظارت برنامه‌های نرم‌افزاری از بیرون عمل‌کرده وقادرند همانندهای خود را به‌وجود آورند مزایای راهبردی علوم و فنّاوری مقیاس نانو را رقم می‌زند.

۲-٤ علایق جهانی

مطالعات گسترده نشان می‌دهد درمقطع کنونی علایق جهانی علوم وفنّاوری نانو، زمینه های زیر را در بر می‌گیرد:

۱- فنّاوری قطعات الکترونیکی، بویژه درحوزهٔ مرتبط با سخت افزارهای رایانه‌ای؛

۲- فنّاوری اطلاعات در حوزه تولید نرم افزارهای مدلسازی عددی و

www.SID.ir

Archive of SID

شبیه‌سازی وابسته به رایانه که مورد استفاده در علوم وفنّاوری محاسباتی نانوهستند؛

۳- فنّاوری زیستی و کشاورزی؛

٤- صنایع دارویی؛

٥- صنایع شیمیایی؛

٦- بهداشت؛

۷- محیط زیست؛

۸- تولید مواد جدید؛

۹- پزشکی؛

۱۰- الکترونیک مقیاس میکرونی(همگرایی فیزیک و زیست شناسی).

این حوزه ها اجزای یک برنامه جهانی را تشکیل داده و کشورهای گوناگون، بسته به امکانات و اولویتهای ملـــی خود، در این یا آن زمینه، وبندرت بطور یکسان در همهٔ زمینه‌هـــا، کار ایجاد وتوسعهٔ فنّاوری نانو را آغـــازکرده‌اند. راهبردهای تحقق این برنامه نیز از طرف جامعه پژوهشگر جهانی تدوین شده که عبارت است از:

۱- پژوهشهای بنیادی در علوم نانو به‌منظـــور ایجاد دانشهای پایه دربارهٔ روند شکل‌گیری و عملکرد نانو ساختارهای منفرد (درفیزیک ، شیمی و زیست- شناسی) به مثابه اجزای ساختمانی نانو فناوری و سنتز این نانو ساختارها؛

۲- پژوهشهای چالش بزرگ در فنّاوری نانو، مانند تولید آزمایشگاهی مواد نانو ساختاری جدید و ارائه راهکارهای عملی برای دستکاری در بافت ژنتیکی نانو ساختارهای زیستی؛

۳- ایجاد نهادهای ویژه، مانند مراکزتخصصی علوم وفنّاوری نانو (پژوهشگاهها وجزایر کیفیت) ، قطبهای علمی، مراکز رشد (انکوباتورها) وفور سایتها؛

٤- ایجاد شبکه های ملی آزمایشگاهی ویژهٔ علوم و فنّاوری نانو و تهیه وسایل آزمایشگاهی مستقل به‌منظور ایجاد فنّاوریهای توان ساز اولیه؛

www.SID.ir

Archive of SID

۵- تحقق برنامه آموزش ملی در دانشگاهها وسایر مراکزآموزش عالی برای تربیت نیروی انسانی متخصص.

۳- علایق علوم و فنّاوری نانو در ایران

با عنایت به علایق علوم وفنّاوری نانو درمقیاس جهانی، لازم است انعکاس این علایق در مقیاس ملی در انطباق با شرایط کشور و اولویتهای ملی انجام پذیرد. علایق نانو فنّاوری در ایران درمرحله حساس بنیانگذاری الزاماً باید به‌طور تنگاتنگ درارتباط با امکانات وتوانمندیهای بالقوه وبالفعل کشور ، چه در عرصه امکانات سخت افزاری و چه نیروی انسانی، قرار داشته باشد. نادیده گرفتن نقش امکانات مشخص و محلی ودنبال کردن روند های جهانی در این زمینه، و احیاناً الگوسازی ساده ومکانیکی از فعالیتهای کشورهای صنعتی پیشرفته، مانند ایالات متحده و ژاپن، می‌تواند عواقب منفی برای کشوری نظیر ایران به‌دنبال داشته باشد. کشورهای پیشرفته صنعتی، که از زیرساختهای علمی- صنعتی بسیار قدرتمند برخوردار هستند، کلیه حوزه های فنّاوری نانو و استفاده از تمامی رویکرد ها (از پایین به بالا / از بالا به پایین) را در برنامه‌های پژوهشی خود قرار داده و یا خواهند داد. این کشورها قادر به تخصیص بودجه های پژوهشی کلان برای تحقق رویکردهای گوناگون، واحیاناً ناموفق، هستند. برای کشورهایی نظیر ایران که بخش بسیار نازلی از تولید ناخالص ملی خود را در پژوهشهای علمی- صنعتی، به‌طور عام، و پژوهشهای مرتبط با حوزه های نوین از قبیل نانوفنّاوری ، بطور ویژه، هزینه می‌کند، باید جوزه‌های فعالیت به‌طور گزینشی انتخاب شوند. از این منظر، لازم است اولویتهای ملی بر پایهٔ امکانات ملی تعیین گردند و در تمام تصمیمات مربوط به فنّاوری نانو به‌حساب آورده شوند. در اینجا، قبل از پرداختن به بررسی امکانات ملی، یادآوری چند نکته مربوط به رویکردهای مورد استفاده در نانو فنّاوری ضروری است. همچنانکه اشاره شد، سنگ بنای علوم و فنّاوری مقیاس نانو را نانو ساختارها تشکیل می‌دهد. طراحی،

www.SID.ir

Archive of SID

مهندسی، تولید وشناسایی این ساختـــارها، چه دردستگاههای غیر زیستی وچه زیستی، چـــه درمحیط خشک وچه تر، مبانی اساسی فعالیتهای نانوفنّـــاوری به حساب می‌آیند. تولید صنعتی نانوساختـــارها از طریق دو رویکرد امکان پذیر است.یکی رویکرد از بالا به پایین، یعنی حرکت از مقیاسهای بزرگتر از مقیاس نانو متری و گذار گام به‌گام به مقیاس نانو. علایق نانو فنّاوری در این رویکرد، بیرون کشیدن ساختارهای نانومتری از درون ساختارهای میکرونی، و یا بزرگتر از میکرونی است. این رویکرد تحت عنوان رویکرد *کوچک سازی* در سطح جهان معروف گردیده است و در برگیرنده فنّاوریهای زیر صد نانو متر است. کار برد این رویکرد عمدتاً در صنایع الکترونیک، مانند نیمه رساناها و تولید قطعات کوانتومی، است. فنّاوریهای مربوط به ماشینهای میکروالکترو مکانیکی (MEMS) وآزمایشگاههای روی تراشه (LoC) که درمقیاسهای میکرونی ومیلیمتری عملکرد دارند اولین قدمها درراه فعالیتهای کوچک سازی برای رسیدن به مقیاس نانو از بالا می‌باشد.

رویکرد دوم نانو فناوری،که به مبـــانی افکار هدایت کنندهٔ پایه گذاران این رشته بسیار نزدیکتر است وانگیزهٔ اساسی را در به‌پا ساختن وتوسعهٔ این انقلاب علمی- صنعتـــی تشکیل می‌دهد، رویکرد ازپایین به بالاست. دراین رویکـــرد، تولید نانوساختارها از طریق جایسازی تک اتمها وتک ملکولها در کنار یکدیگر انجـــام می‌پذیرد. این رویکرد دارای کاربرد وسیعـــی، بویژه در زیست‌شناسی، ژنیتک ملکولی، طراحی مواد معدنی و آلی جدید، تولید مواد غذایی جدید، تولید داروهای هوشمند و تولید ماشینهای مقیاس ملکولی است. طراحی و تولید مواد نوین با ریز ساختهای نانومتری و نانو پودرها، با خواص و عملکردهای کاملاً نوین، که در مواد مقیاس بزرگتر به‌چشم نمی‌خورند، مواد، محکمتر، سخت تر و سبکتر و کاتالیزورهای نانو ساختاری که دارای استفاده وسیع در صنایع نفت و پترو شیمی هستند در زمرهٔ عرصه‌های فعالیت این رویکرد قرار دارند.

بی شک، تحقق این دو رویکـــرد مستلزم وجـــود امکانات و توانمندیهای

www.SID.ir

Archive of SID

خاصی است. بررسی نسبتاً جامع از فعالیتهای کشورهای گوناگون نشان می‌دهد که رویکرد اول عمدتاً از طرف ژاپن، واساساً درارتباط با فنّاوری میکروالکترونیک و صنایع مربوط به آن، مانند فنّاوری اطلاعاتی، اتخاذ گردیده و رویکرد دوم توسط کشور های اروپایی وایالات متحده مورد استفادهٔ وسیع قرار گرفته است. سایر کشورها ، مانند کشورهای جنوب شرقی آسیا ویا اسراییل، بسته به امکانات خود جنبه‌هایی از هردو رویکرد را در مد نظر قرار داده اند، و تا آنجا که می‌توان ازگزارشهای خودآنان قضاوت‌نمود، گرایش عمدهٔ تمامی این‌کشورها درفعالیتهای پژوهشی وکاربردی حول محور رویکرد دوم است.

اکنون سؤال اساسی در مورد پایه ریزی این فنّاوری در ایران این است : از این دو رویکرد کدامیک برای ایران در این مقطع زمانی امکانپذیر است وباید مورد حمایت قرار گیرد؟ به‌منظور پاسخ به این پرسش می‌بایست ابتدا امکانات بالقوه و بالفعل علمی وصنعتی کشور مورد مطالعهٔ تقریباً همه جانبه قرار می‌گرفتند. هدف از این مطالعه ، نه فقط کسب شناخت از امکانات سخت افزاری ونیروی انسانی موجود، بلکه همچنین ارزیابی ازامکان تلفیق این امکانات با یک برنامه مشخص ملی نانو فنّاوری بود. بررسی امکانات موجود در پژوهشگاهها و مراکز آموزش عالی و صنعتی مستقر در تهران که مورد بازدید قرارگرفتند نشان داد که ایران در این مقطع دارای امکانات محدود، ولی سودمند، برای ورود به عرصهٔ نانو فنّاوری از طریق محور از پایین به بالا است . تا آنجا که به رویکرد کوچک سازی مربوط می‌گردد، کشور از همین امکانات محدود نیز برخوردار نیست. پیش شرط پیاده‌سازی این‌رویکرد، وجود فنّاوریهای پیشرفته مقیاس میکرونی است که در رشدو توسعه خود، تولید ابزار ، قطعات و دستگاههای مقیاس نانو را هدف قرارمی‌دهند. براساس عوامل تاریخی و به دلیل فقدان یک زیر بنای جدی علمی- صنعتی ، از قبیل صنایع میکرو الکترونیک و میکرو ماشینی، جامعه دربهترین حالت درگیر فعالیتهای غیر مولّد، ازقبیل فعالیتهای روبنایی مونتاژ و تعمیرات بوده است. بی شک در یک برد زمانی بلند

www.SID.ir

Archive of SID

مدت، به عنوان مثال درفاصلهٔ زمانی ۲۰ سال به بالا وبا حرکت از ایجاد شالوده‌های مطمئن برای صنایع میکرونی، می‌توان درطرحهای مربوط به رویکرد کوچک سازی از بالا به پایین شرکت فعال داشت.

با توجه به آنچه که دربالا بدان اشاره شد و با درنظر داشت امکانات موجود در کشور، مطالعات دقیق نشان می‌دهد که **محور عمده علایق و مقاصد فعلی و میان مدت نانو فنّاوری در ایران را حوزه گسترده مواد (شامل بیومواد) و فنّاوری‌های متکی براین حوزه از طریق رویکرد از پایین به بالا تشکیل می‌دهد.** از نظر تاریخی، نیز حوزه مواد نقش اساسی و تعیین کننده‌ای را در بهبود بخشیدن به عملکرد اقتصادی و کیفیت زندگی ایفا کرده است و کلیه فعا لیتهای علمی ـ صنعتی در یک کشور به نوعی در ارتباط تنگاتنگ با این حوزه قرار دارد. صنایع یک کشور یا درگیر شکل دادن به مواد (تولید قطعات صنعتی) ،یا بهینه کردن خواص آنها و یا طراحی و تولید مواد نوین است. عملکرد فنّاوری نانو در حوزه مواد بسیار ملموستر و قابل دسترسی‌تر بوده و زمینه‌های زیر را بروشنی تحت پوشش خود قرار می‌دهد:

الف- **محیط زیست**: استفاده کاراتر از مواد و منابع انرژی، ایجاد منابع و مواد جدید انرژی زا، بی خطر سازی مواد آلاینده و قابل باز یافت؛

ب- **بهداشت**: هماهنگی حوزهٔ مواد و بیوفنّاوری به منظور مبارزه مؤثر با بیماریها، شامل تولید مواد استخوانی و اندامهای مصنوعی، داروهای هوشمند، فیلترهای هوشمند تصفیه آب و... ؛

ج- **ارتباطات**: پیشرفت در فنّاوری اطلاعاتی ورایانه‌ای ازطریق تولید مواد جدید مغناطیسی، نوری و الکترونیکی؛

د- **کشاورزی**: بهبود کیفیت فرآورده‌ها با استفاده از نانو فنّاوری، مبارزه با آفات گیاهی در مقیاس ژنتیکی، طراحی مواد غذایی جدید با بافت ژنتیکی تغییر یافته، مقاوم سازی محصولات کشاورزی در مقابل افت و خیز در شرایط جوّی از طریق دخالت عمدی در نظم ملکولی آنها .

www.SID.ir

Archive of SID

هـ- **صنایع**: دگرگونی کیفیت کالاهای صنعتی ازطریق استفاده از مواد پیشرفته ، ازجمله تولیـــد قطعات آلومینیمـــی سبکتر برای خودروهـــا، دستگاههای ترمزدهندهٔ ســـاخته شده ازمواد جدیـد برای قطارهای پر سرعت، ساخت هواپیماهای کم صـــداتر و کاشیهای محافظتی برای سفینه ها با استفاده از مواد جدید، طراحی وتولید مواد با ریز ساختهای نانومتری ، بویژه آلیاژهای مستحکم جایســـازی ذرات نانو متری در پلیمرهـــا به‌منظـــور ایجاد مواد کامپوزیت باخواص جدید(مورد استفـــاده در وسایل نقلیـــهٔ درون تبدیل- گرهای کاتالیتیک برای تبدیل مواد زائد حاصل از احتراق در موتور ماشینها به مواد خنثی و بی‌اثر برمحیط زیست)، تولیـــد پلاستیکها ومواد پوششی سبکتر که بازده مصـــرف مواد سوختـــی در وسایل نقلیه را ارتقا می‌دهند، تولید نانو لوله‌های کاربنی که به‌مراتب از فولاد قویتر بوده ولی بمراتب از فولاد سبکتر هستند وکاربردهای این لوله‌ها درالکترونیک، صنایع شیمیایی، نور شناسی، زیست شناسی و ترابری؛

و- **فنّاوریهای جدید** : تولید نرم افزارهای مرتبط با نانو فنّاوری محاسباتی، استفاده از نرم افزازهای مدلسازی عددی و شبیه سازی وابسته به رایـانه در مقیاسهای اتمی و ملکولی برای طراحی وآزمون مواد جدید و آزمایش آنها درشرایط کاملاً نا آشنا، طراحی اتم‌به‌اتم ساختارهای نانومتری، محاسبه نفوذ روندها وساختارهای مقیاس اتمی در روندها و ساختارهای مقیاس روزمره.

٤-اهداف نانو فناوری در ایران

با تعیین حوزهٔ گسترده مواد به‌عنوان محور اصلی علایق نانو فنّاوری در ایران ، اکنون باید اهداف مشخصی را برای تحقق این حوزه معیّن نمود. این اهداف در سه زمینهٔ: تحقیقات بنیادی ، تحقیقات کاربردی (هدفمند) و تحقیقات توسعه ای و هرکدام در سه بازه زمانی کوتاه مدت (تا پایان برنامه سوم توسعه، ۱۳۸۳) میان مدت (تا پایان برنامه چهارم توسعه ، ۱۳۸۸) و بلند مدت (تا سال ۱٤۰۰)

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی می‌شوند. قبل ازپرداختن به‌توضیح اهداف ، ذکرچند پیش فرض ضروری است.

الف- در خصوص تحقیقات بنیادی، فرض برآن است که عمده این تحقیقات ،که درحوزه علوم نانو خواهند بود، دردانشگاهها، پژوهشگاهها و آزمایشگاههای ملی انجام خواهند گرفت زیرا نظر به طولانی بودن دورهٔ به ثمر رسیدن این تحقیقات، صنایع موجود ممکن است از ارائه پشتیبانیهای لازم در این شاخه سر باز زنند. بودجه برای تحقیقات بنیادی باید هم برای محققین منفرد و هم گروه محققان در نظر گرفته شود و درعین حال نظر به بین رشته ای بودن تحقیقات علوم نانو، حتی المقدور به پژوهشهای بین رشته‌ای اولویت داده شود.

ب- درخصوص تحقیقات کاربردی ، فعالیت مشترک پژوهشگران ومهندسان دردانشگاهها و مراکز صنعتی لازم است و درنتیجه آن طرحهایی باید مورد پشتیبانی قرار گیرند که این رابطه را دقیقاً در نظر گرفته باشند؛

ج- درخصوص تحقیقات توسعه‌ای، به‌منظور بهینه کردن این تحقیقات و تجاری سازی نهایی نمونه‌های بدست آمده در تحقیقات کاربردی، لازم است همکاری همه جانبه‌ای بین دانشگاهها ، صنایع وآزمایشگاههای ملی به‌وجود آید؛ بدین منظور می‌توان به‌عنوان نمونه برنامه‌های نانو فنّاوری مشارکتی را از طریق ایجاد شرکتهای کوچک تخصصی تشکیل داد و محیطهای رشد در دانشگاهها و پارکهای علمی را به‌وجود آورد.

٤-١ اهداف کوتاه مدت

الف- شاخه بنیادی

- بررسی محاسباتی و آزمایشگاهی مواد نانو ساختاری؛
- بررسی مواد نانوکربنی به مثابه شاخه مشخصی در نانو فناوری؛
- بررسی خواص مکانیکی ، الکترونیکی و اپتیکی نانوبلورها، لایه‌های نازک

www.SID.ir

Archive of SID

وساختارهای با ابعاد پایین از قبیل نقاط وسیمهای کوانتومی؛
- بررسی خواص نانوساختارهای زیستی ، بویژه خواص رسانش آنها.

ب- شاخهٔ کاربردی

هدف، دستیابی به مبانی دانش فنی وساخت نمونه‌های آزمایشگاهی درزمینه‌های ذیل است:

- ساخت حسگرها؛
- ساخت آزمایشگاهی ساختارهای نانوکربنی؛
- ساخت نانوبلورها، نانوپودرها و کامپوزیتها؛
- ساخت لایه ها و پوشش ها؛
- ساخت کاتالیزورهای نانویی؛
- ساخت نانو ساختار های زیستی، پزشکی و داروهای هوشمند؛
- ساخت ابزارهای دستکاری، مشاهده و آنالیز نانو متری.

ج- شاخه توسعه‌ای

هدف، تعیین اولویتها و بخشهای مزیت‌دار است که خـود به عناوین زیر تقسیم می شود :

- دستیابی به دانش فنی مربوط به افزایش خواص محصولات فنّاوریهای پایین دست بخشهای مزیت دار؛
- شناسایی فنّاوریهای اولویت دار قابل انتقال به کشور.

٤-۲ اهداف میان مدت

الف- شاخه بنیادی

- توسعه روشهای مدلسازی عددی و شبیه سازی رایانه ای.
- شناسایی آزمایشگاهی پدیده های نانو متری

www.SID.ir

Archive of SID

ب- شاخه کاربردی

هدف، نمونه سازی مواردی مانند ذیل است:

- نمونه‌سازی نانوحسگرها، از جمله نانوحسگرهای نوری، شیمیایی ، زیستی و پزشکی؛
- نمونه سازی ساختارهای نانوکربنی و طراحی شماتیک قطعات؛
- نمونه سازی نانوبلورها، پودرها ، کامپوزیتها و الیاف؛
- نمونه سازی لایه ها و پوششها؛
- نمونه سازی انواع کاتالیزورها؛
- نمونه سازی ابزارهای دستکاری، مشاهده و آنالیز ساختارهای نانومتری؛
- نمونه سازی غشاهای مصنوعی و داروهای هوشمند.

ج- شاخه توسعه‌ای

هدف، نهادسازی درموارد ذیل است:

- تقویت مراکز پژوهشی و نهاد سازی توسط صنعت.
- بومی سازی دانش فنی انتقال یافته.
- ایجاد فنّاوریهای مستقل نانویی در حوزه بخشهای مزیت دار.

۳-٤ اهداف بلند مدت

الف- شاخه بنیادی

هدف؛ انجـــام چالشهای بزرگ در تمامی زمینه‌هـایی است که در ذیل اهداف کوتاه‌مدّت و میان مدّت، این شاخه عنوان شد.

ب- شاخه کاربردی

هدف، بهینه سازی مواردی ازقبیل ذیل است:

- بهینه سازی حسگرهای نوری ، شیمیایی ، زیستی و پزشکی؛
- ساخت قطعات؛

www.SID.ir

Archive of SID

- بهینه سازی نانوبلورها، پودرها و کامپوزیتها؛
- بهینه سازی کاتالیزورها و آماده سازی ورود به صنعت؛
- ساخت سیستمهای ساده؛
- استفاده از لایه ها و پوششها در قطعات.

ج- شاخه توسعه‌ای

هدف تولید صنعتی مواردی مانند ذیل است:

- تولید حسگرهای زیستی، شیمیایی ، نوری و پزشکی؛
- استفاده از مواد نانو کربنی در صنایع؛
- تولید مواد با ریز دانه های نانومتری؛
- تولید کاتالیزورهای خاص؛
- بهبود صنایع وابسته به لایه ها و پوشش‌ها؛
- توسعه و تکمیل ابزارهای موجود.

۵- سیاستها

با تعیین اهداف علوم وفنّاوری نانو در ایران، اکنون لازم است سیاستهای دستیابی به این اهداف را پیشنهاد نمود:

الف- تدوین برنامه های میان مدت جهت جلب شرکتهای بزرگ صنعتی(مانند صنایع خود رو، مخابرات، نفت وگاز، پتروشیمی و صنایع دارویی) به فعالیتهای مرتبط با نانو فناوری وکمک به تأسیس شرکتهای متوسط در زمینهٔ نانو؛

ب- تدوین برنامه میان مدت ملی پژوهش و توسعهٔ علوم وفنّاوری نانو ، در برگیرنده دانشگاهها، پژوهشگاهها و صنایع مربوطه. هدف این برنامه ایجاد جامعه ای از متخصصین علوم وفنّاوری نانو است که به‌طور مشخص بر روی‌پیشبرد این دوزمینه تمرکز می‌یابند. درکنار این‌برنامهٔ پژوهشی، تدوین یک برنامه ملی‌آموزشی و گسترش رشته نانو دردانشگاهها وپژوهشگاههای

www.SID.ir

Archive of SID

کشورنیز ازضرورتهای این سیاست است؛

ج- تدوین یک برنامه دقیق و محاسبه شده میان مدت، به‌منظور محور ساختن ایران برای پژوهشهـــای علمی وفنی نانو درمنطقه وجذب امکانات مالی کشورهای ثروتمند در منطقه (باتوجه به عدم فعالیت هیچیک ازکشورهای اسلامی منطقه دراین حوزه)؛

د- ایجاد روابط نزدیک با کشورهایی که در زمینهٔ نانو فنّاوری فعال هستند (از طریق برگزاری نشستها و همایشهای بین المللی ، تبادل دانشجو و استاد و همچنین امضای تفاهم نامه‌های همکاری بین المللی)؛

هـ - کمک همه جـــانبهٔ دولت از طـــریق و زارتخانه‌های ذی‌نفع و اختصاص بودجه‌های سالیانه و افزایش معقول این بودجه‌ها.

و- جلب همکاری همـــوطنان متخصـــص مقیم خارج کشور وفراهم ساختن امکانات تردد آنها.

٦- وضعیت مطلوب

با توجه به اهداف اعلام شده و سیاستهایی که باید به‌منظور تحقق این اهداف تا میان مدت دنبال نمود، چه شاخصهایی را می‌توان به‌عنوان تحقق رضایت بخش این سیاستها درنظر گرفت ؟ دراین خصوص می‌توان وضعیت مطلوب را به‌شرح زیر تعریف نمود:

الف- ایجاد شبکه‌ای متشکل از پژوهشکده ها و پژوهشگران درگیر در علوم وفنّاوری نانو در میان مدت و ایجاد یک بانک اطلاعاتی نسبتاً فراگیر؛

ب- انجام حداقل ده پژوهش فراگیر تا پایان برنامهٔ چهارم توسعه که قابلیت تبدیل به یک فنّاوری جهانی را دارا باشند؛

ج- گسترش تعداد پژوهشگران از سطح فعلی تقریباً ۳۰ نفر به‌سطح ۳۰۰ نفر تا پایان برنامه چهارم؛

د- تولید حداقل ۵ محصول مرتبط باعلوم وفنّاوری نانو تاپایان برنامه چهارم؛

www.SID.ir

Archive of SID

هـ- چاپ مقالات پژوهشی به طـــوری که تا پایان برنامه چهارم به سقف ۶۰ مقاله درسال برسد.

۷- راهبردهای دستیابی به وضعیت مطلوب

محورهای زیر می‌توانند راهبردهای ایجاد وضعیت مطلوب را ارائه دهد:

الف- پرورش نیروی انسانی متخصص؛

ب- حداکثر بهره‌گیری از امکانات درون کشور؛

ج- اتکا به برنامه‌های همکاری بین المللی و منطقه‌ای؛

د- توجه دقیق به چرخهٔ مطالعات تا ایجاد فنّاوری و تجاری سازی؛

هـ- فعال سازی بخش خصوصی در زمینهٔ نانو؛

و- تشویق و توسعه فعالیتهای بین رشته‌ای؛

ز- تدوین طرحهای مشترک پژوهشی بین وزارتخانه‌ای؛

ح- سهیم شدن در بازار یک هزار میلیارد دلاری نانو تا ۱۵ سال دیگر.

۸- بحث و نتیجه گیری

دراین مقاله نشان دادیم که پایه‌ریزی علوم وفنّاوری نانو، نه‌فقط برای کشورهای صنعتی پیشرفته، بلکه برای کشورهای در حال توسعه نظیر ایران نیز یک اولویت ملی به‌حساب می‌آید. خصلت مشخص کنندهٔ نانو فنّاوری آن است که پژوهش در برگیرندهٔ چندین شاخه علمی و صنعتی است وچنـــدین طرح پژوهشی بین رشتـــه‌ای را در برمی‌گیرد. این شـــاخه‌ها شـــامل علوم فیزیک، شیمی، فنّاوری زیستی، مهندسی، ژنتیک و فنّاوری اطلاعاتی است. نانو فنّـــاوری ، اولین زمینه علمی درتاریخ نسبتاً طولانی علوم وفنّاوری است که ازچنین خصلت هولیستیک وبین رشته ای برخوردار است. زیرا مبنای این فنّاوری، یعنی نانوساختارها، که دریچه ورود ما به حیطه های نوینی در علوم فیزیکی و زیست شناسی است، در تمامی شاخه های علوم و فنّاوری سنتی موجود بوده و دارای کاربرد است. آنچه

www.SID.ir

Archive of SID

نانو فنّـــاوری انجام می‌دهد تجمع این نانوساختارهـــا در زیر چتر یک فنّاوری گسترش یافته و برقراری ارتباط بین آنها است. فعالیت نانو فنّـــاوری درحیطه نانوساختـــارها، امکان تماس با مادّهٔ فیزیکی در اساسی‌ترین سطـوح آن را فراهم آورده و دخالت عمدی در نظم اتمی را ممکن می‌سازد. این دخالت می تواند در مواد غیـــرزیستی به‌منظور بهینه کردن عملکردهای آنها، یا در مواد زیستی برای ایجـــاد تغییرات در بافتهای ژنتیکی آنها انجـــام پذیرد. بی‌شک، این امر امکانات عظیمی را در اختیار جوامع بشری قرار خواهد داد وحـــربه‌ای مؤثر برای رفع مشکلاتی از قبیل گرسنگی، بیماری و بیکاری خواهد بود.

اکنون که مبحث ایجاد و اشاعه نانو فنّاوری در ایران گشوده شده و پیشرفت این رشته ثمرات اجتماعی – اقتصـــادی مطلوب خود را به بار خواهد آورد، پرسشهایی در این مقطع مطرح می‌شوند که می توانند شامل مباحث زیر باشند:

۱- عناوین پژوهشی از حوزهٔ گسترده مواد، که اولویت ملی را در این مقطع در ایران تشکیل می‌دهد، شـــامل چه مباحثی می‌شود؟ بررسیهـــای ما در مورد امکانات وتوانمندیهای موجود نشان می‌دهند که مراکز علمی وپژوهشی‌ما دارای امکاناتی برای شروع فعالیت در شاخه های زیر می باشند.

- **طراحی و تولید مواد جدید :**

الف- آلیاژهای جدید که دارای ریز ساختهای نانومتری می باشند ودرصنایع خودروسازی مورد نیازند؛

ب- آلیـــاژهای جدیـــد مورد نیـــازدر صنـــایع بسته بندی الکتـــرونیکی (Electronic packaging industries) ازقبیل لحیمها وسیم جوشهای مورد استفاده در ساخت مدارهای مجتمع الکترونیکی؛

ج- آلیاژهای مغناطیسی؛

د- آلیاژهای مورد نیاز در صنایع الکترونیک؛

هـ- طراحی و تولید پودرها و کاتالیزورهای مقیاس نانومتری؛

www.SID.ir

Archive of SID

- دستکاری ودخالت عمدی دربافت مواد موجود، بویژه بیومواد و پلیمرها، در مقیاس ملکولی .

- طراحی ورشد لایه‌های نازک برای کاربرد درصنایع پوششی و چندلایه‌ای-های مغناطیسی جهت ساخت حسگرها؛

- ساخت قطعات نانومتری کربنی مانند فولرینها، لوله های کربنی و لایه های نانومتری کربنی برای تولید قطعات بسیار ریز با مقاومت مکانیکی بالا، حاملهای نانومتری مناسب برای حمل مواد، پوششهای نازک سخت، عایقهای الکتریسیته که هادی خوب حرارتی باشند و فیلترهای نانومتری؛

- طراحی داروهای هوشمند وهمکاری با شرکتهای داخلی و بین‌المللی دارویی به‌منظور تولید این داروها؛

- پژوهشهای گسترده درحیطه نانو فنّاوری محاسباتی و تولید نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مرتبط با این شاخه وکوشش فعال جهت بازاریابی جهانی.

۲- آیا بودجه های پژوهشی باید از طریق مراکز دولتی تأمین شوند یا این وظیفه باید بر عهده بخش خصوصی قرار گیرد ؟

از دید ما، پیدایش ثمرات ناشی ازنانو فنّاوری نیاز به‌یک بازهٔ زمانی نسبتاً طولانی دارد. نظر به اینکه این موضوع با خواسته‌های بخش خصوصی، که عمدتاً به دنبال کسب حداکثر سود درحداقل زمان است، تطابق ندارد، لذا همانند سایرنقاط جهان، درمرحله شکل‌گیری ورشد اولیه نانوفنّاوری درایران، عمدهٔ پشتیبانی از پژوهشگران، باید از طریق مراکز دولتی و تحت یک بودجه ویژهٔ این فنّاوری تأمین شود.

۳- آیا انتقال به داخل و استفاده از یک فنّاوری جدید، مانند نانوفنّاوری، بدون داشتن دانش کافی دربارهٔ آن مقرون به صرفه ومفید است؟ و چگونه می‌توان این دانش را به‌وجود آورد؟

درآیندهٔ نزدیک، وسایل و مواد مرتبط با نانو فنّاوری وارد بازار شده و

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده ازآنها اجباری است. برای ارزیابی مرغوبیت کالا و خدمات در این زمینه، نیاز به دانش نانومتری بوده و استفاده از آنها نیز نیاز به دانش نانو فنّاوری خواهد داشت. به منظـــور ایجـــاد این دانش، می‌باید برنامه آموزشی وپژوهشی مدوّنی به‌وجود آمده و پیگیری شود. بنا به پیشنهاد ما، برپا ساختن دوره‌های کارشناسی ارشد در علوم و فنّاوری نانومتری، دوره‌هـــای دکترا در این رشته و باز آموزی علاقه منـــدان واستادان دانشگاهها درقـــالب سمینارهـــا، کارگاههای پژوهشی و پروژه های مشترک، از اولویت بالایی برخوردار است.

٤- آیا ارزیابی از طرحهای پیشنهادی پژوهشگـران و تخصیص بودجه برای آنها باید به شیوه رایج انجام شود؟

به پیشنهاد ما، کلیـــه طرحهای پیشنهادی پژوهشگران می باید از طرف **کمیته نانو فنّاوری در شورای تحقیقـــات و فنّـــاوری**، متشکل از متخصصان رشته‌های تشکیل دهندهٔ علوم و فنّاوری نانومتری، در اسرع وقت مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج قبول یا رد آنها سریعاً به پژوهشگران اطلاع داده شود. همچنین بودجه اختصاص داده شده مستقیماً در اختیار پژوهشگر قرار گیرد، تا در امر پژوهش تسریع ایجاد شود. پیشبرد طرحها از شروع تا پایان و حسن انجام آنها، می باید به طور تناوبی تحت نظارت اعضای مربوط در کمیته قرار گیرد. نظر به اینکه علوم وفنّاوری نانومتری حیطه‌های کاملاً نوینی هستند و امکان کسب موفقیت از پیش قابل ضمانت نیست و در برخی موارد باید از شیوهٔ آزمون و خطا استفاده کرد، بودجه های اختصاص داده شده باید انعکاس دهنده این موضوع باشند؛ علاوه براین برای تعیین بودجه های پژوهشی در نظر گرفته شده مناسب است به روند جهانی نیز توجه شود: به عنوان مثال، امریکا که تولید ناخالص ملی آن $۱۰^{۱۲}$ دلار می باشد، فعالیت در زمینه نانوفنّاوری را با $۱/۲ \times ۱۰^{۸}$ دلار در سال ۹۷ آغاز نمود و پس از پنج سال، این مبلغ پنج برابر یعنی ٦×۱۰^{۸} دلار گردید. در مقایسه با امریکا، ایران باید با رقمی معادل ۳ میلیون دلار در سال، این فعالیت را آغاز و در طول پنج سال آن را به ۱۵ میلیون دلار ارتقاء دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

و نتایج قبول یا رد آنها سریعاً به پژوهشگران اطلاع داده شود. همچنین بودجه اختصاص داده شده مستقیماً در اختیار پژوهشگر قرار گیرد، تا در امر پژوهش تسریع ایجاد شود. پیشبرد طرحها از شروع تا پایان و حسن انجام آنها، می باید به طور تناوبی تحت نظارت اعضای مربوط در کمیته قرار گیرد. نظر به اینکه علوم وفنّاوری نانومتری حیطه‌های کاملاً نوینی هستند و امکان کسب موفقیت از پیش قابل ضمانت نیست و در برخی موارد باید از شیوهٔ آزمون و خطا استفاده کرد، بودجه های اختصاص داده شده باید انعکاس دهنده این موضوع باشند؛ علاوه براین برای تعیین بودجه های پژوهشی در نظر گرفته شده مناسب است به روند جهانی نیز توجه شود: به عنوان مثال، امریکا که تولید ناخالص ملی آن $۱۰^{۱۲}$ دلار می باشد، فعالیت در زمینه نانوفنّاوری را با $۱/۲ \times ۱۰^{۸}$ دلار در سال ۹۷ آغاز نمود و پس از پنج سال، این مبلغ پنج برابر یعنی ۶×۱۰^{۸} دلار گردید. در مقایسه با امریکا، ایران باید با رقمی معادل ۳ میلیون دلار در سال، این فعالیت را آغاز و در طول پنج سال آن را به ۱۵ میلیون دلار ارتقاء دهد.

۹- قدردانی

بدین‌وسیله ازهمکاران محترم، اعضای کمیته مطالعه توسعه زیر ساختهای *فناوری* پیشرفته (با اولویت نانو فنّاوری)، محمد علی استاد ابراهیم وساقی، کیوان اسفرجانی ، اعظم ایرجی زاد، میترا قاسم‌زاده، رامین گلستانیان، فرشید مصطفوی و لیلا احمدی تشکر می نمایم.

فهرست منابع

[1] Drexler, K.E., **Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation**,Wiley, New York, 1992.

[2] **Collection of Articles in Science**, Vol. 254, November 1991.

[3] Feynman, R.P. Eng. Sci. (23), 1960.

www.SID.ir

Archive of SID

[4] Rafii-Tabar, R. "**Physics Reports**", Vol. 325 , (2000) pp.239-310.

[5] Scientific American , **Special Issue on Nano – Technology** , September 2001.

www.SID.ir